УДК 663.18:573.6.086.835

METHODOLOGY FOR OPTIMAL DESIGN OF FERMENTOR

Y. Karlash
National University of Food Technologies

Key words:
Optimization
Fermentor
Microorganisms
Submerged cultivation

Article history:
Received 18.03.2015
Received in revised form 29.03.2015
Accepted 15.04.2015

Corresponding author:
Y. Karlash
E-mail:
ykarlash@ukr.net

ABSTRACT

Systemic approach was proposed for the methodology of optimal design of fermentor used for submerged cultivation of aerobic microorganisms. Optimization criterion included total cost of cultivation medium, fermentation process, and depreciation of equipment purchase and installation. The solution of this optimization task involves the determination of optimal fermentation parameters, design and operational characteristics of fermentor, ensuring minimum cost of cultivation process.

МЕТОДОЛОГІЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗРАХУНКУ ФЕРМЕНТЕРА

Ю.В. Карлаш
Національний університет харчових технологій

На основі системного підходу у статті запропоновано методологію оптимального розрахунку ферментера для глибинного періодичного культивування аеробних мікрорганизмів. Критерієм оптимальності прийнято глобальний критерій, що включає в себе сумарні витрати на придбання компонентів поживного середовища, експлуатаційні витрати на проведення процесу ферментації та капітальні витрати на придбання й монтаж ферментаційного обладнання. Розв'зком даної оптимізаційної задачі є знаходження таких оптимальних параметрів процесу ферментації, конструктивних і режимних характерстик ферментера, що забезпечують мінімальні витрати на процес.

***Ключові слова**: оптимізація, ферментер, мікроорганізми, глибинне культивування, системний підхід.*

Постановка проблеми. У нинішніх умовах ринкової економіки й занепаду біотехнологічної галузі в Україні особливої актуальності набуває питання відновлення втрачених позицій промисловості та підвищення її конкурентоспроможності. Будь-яке виробництво чи технологічна лінія починаються з моделювання процесів, складання технологічних схем, регламентів, іншої проектної документації, тобто проектування виробництва, тому прибутковість виробництва закладається саме на стадії проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найважливіших у біотехнології є стадія ферментації. З огляду на це можна стверджувати, що ферментаційні системи й обладнання є однією з основних складових біотехнологічного процесу як за складністю реалізації, так і за впливом на рентабельність виробництва. За даними техніко-економічного аналізу типового біотехнологічного процесу вартість ферментаційного обладнання в загальній сумі витрат на обладнання складає близько 70 %. Варто підкреслити, що ефективна робота обладнання безпосередньо впливає на техніко-економічні показники виробництва [1].

Розглядаючи ферментаційне обладнання та процеси у такому контексті, під час проектування нового біотехнологічного виробництва важливо вирішити проблеми, пов'язані з оптимальним підбором конструктивних характеристик і технологічних параметрів роботи ферментерів.

Існуючі методи розрахунку технологічних параметрів, які базуються на математичних моделях процесів, що відбуваються у ферментері, донині залишаються недосконалими. До того ж емпіричні дані, одержані за допомогою експериментів, також не можуть абсолютно точно описати технологічні процеси, тому удосконалення обчислювальних алгоритмів з метою оптимізації періодичних процесів мікробного синтезу з нелінійною кінетикою росту мікроорганізмів є актуальним [2].

Відомі зарубіжні фірми-виробники ферментаційного обладнання пропонують різні види ферментерів, що відрізняються між собою як за конструктивними характеристиками, так і за ціною [3].

Існуючі методи підбору ферментаційного обладнання, що базуються на технічних вимогах до нього, як правило, включають інформацію щодо геометричного об'єму ємності ферментера, тип мішалки, кількість обертів, характеристики цільового продукту, культуральної рідини, тип культури. Інформацію у вигляді технічного завдання замовник передає фірмі-виробнику ферментаційного обладнання, при цьому не маючи можливості оцінити майбутні витрати на придбання такого обладнання [4].

Одним із варіантів вирішення даної проблеми може бути використання глобального техніко-економічного критерію оптимізації з метою підбору найбільш ефективного ферментера для проведення періодичного процесу мікробного синтезу [5].

Метою дослідження є створення та реалізація методології оптимального розрахунку основного біотехнологічного апарата — ферментера.

Виклад основних результатів досліджень. В основу методології покладено розрахунок основного техніко-економічного показника — глобального критерію оптимізації ферментера для проведення періодичного процесу мікробного синтезу. На основі розрахунку цього критерію проводився вибір ферментера з оптимальними характеристиками із заданої сукупності можливих ферментерів, які знаходяться в систематизованому та структурованому вигляді у створених базах даних.

Як глобальний критерій оптимізації було використано адитивний техніко-економічний критерій B_{Σ}, що включає в себе суму критеріїв:

$$B_{\Sigma} = B_1 + B_2 + B_3, \quad (1)$$

де B_1 — критерій, який враховує витрати на використаний субстрат та інші компоненти поживного середовища, грн/кг АСБ або продукту;

$$B_1 = \sum_{i=1}^{m} a_i \cdot l_i, \quad (2)$$

де a_i — питомий витратний коефіцієнт i-го компонента поживного середовища, a_i розраховується за стехіометричними коефіцієнтами біореакції й економічним коефіцієнтом $Y_{x/s}$ вибраного субстрату та культури мікроорганізму, кг компонента/кг АСБ; l_i — ціна i-го компонента поживного середовища, грн/кг.

B_2 — критерій, який враховує експлуатаційні витрати на проведення процесу ферментації, грн/кг АСБ або продукту:

$$B_2 = \frac{N_г + N_р}{Vx} \cdot \tau \cdot Ц_Е, \quad (3)$$

де $N_г$, $N_р$ — витрати енергії на аерацію та перемішування, кВт/м^3; V — робочий об'єм ферментера, м^3; x — концентрація мікроорганізмів або цільового продукту на виході з ферментера, кг АСБ/м^3; τ — тривалість ферментації, год; $Ц_Е$ — ціна за спожиту електроенергію, грн/кВт-год.

Зв'язок $N_г$, $N_р$ з технологічними параметрами реалізований через витрати повітря та гідродинамічні умови перемішування у ферментері, які забезпечують заданий режим ферментації.

Величини x та τ визначаються у ході лабораторного експерименту або за результатами математичного моделювання процесу періодичного культивування за моделлю Моно (у найпростішому випадку) або за моделлю, запропонованою в [6].

B_3 — критерій, який враховує капітальні витрати на придбання й експлуатацію ферментера:

$$B_3 = \frac{K}{Vx} \cdot \tau \cdot E, \quad (4)$$

де K — капітальні витрати на придбання та монтаж одиниці об'єму ферментера, грн/м^3; E — коефіцієнт окупності.

Капітальні витрати визначаються з урахуванням геометричних характеристик, маси апарата, кількості матеріалу, складності виготовлення.

Розв'язком даної оптимізаційної задачі є знаходження таких оптимальних параметрів процесу ферментації, конструктивних і режимних характеристик ферментера, що забезпечують мінімальні витрати на процес:

$$B_\Sigma \to \min. \quad (5)$$

При виборі того чи іншого типу ферментера (барботажного чи комбінованого типу) ферментер, у якого B_Σ менше, і буде розв'язком даної оптимізаційної задачі.

Технологічними обмеженнями виступають критична концентрація кисню, залишкова концентрація субстрату, максимальна питома швидкість росту тощо. Конструктивними обмеженнями виступають діаметр, висота апарата, кількість обертів мішалки, співвідношення H/D тощо.

З метою реалізації приведеного алгоритму розв'язку оптимізаційної задачі було проведено систематизацію методик розрахунку ферментерів різного

типу. У результаті обрано найбільш ефективні методики та створена база даних і програми розрахунку.

Алгоритм розрахунку було реалізовано за допомогою програмного продукту MathCAD. Розроблена програма є інтерактивною та динамічною, дає змогу організувати діалог між програмою та базами даних. Програма відіграє роль інструменту для розрахунків, а вся інформація (наскільки це можливо) організована у вигляді таблиць баз даних, які легко можна змінювати й поповнювати.

Висновки

Використання запропонованої методології оптимального розрахунку ферментера на основі розробленого програмного продукту надає можливість замовникам ферментаційного обладнання провести попередній техніко-економічний аналіз використання того чи іншого типу ферментера при вибраному складі поживного середовища, типу культури та вибраному цільовому продукті і зменшити ризики при проектуванні й використанні ферментаційного обладнання.

У подальшому даний підхід планується використати і для аналізу та вибору найбільш оптимального обладнання для переробки культуральної рідини, що надає можливість у цілому аналізувати та підбирати найбільш ефективне обладнання для вибраної біотехнології.

Література

1. *Бейли Дж.* Основы биохимической инженерии: монография / Дж. Бейли, Д. Оллис / пер. с англ. в 2 частях. — М.: Мир, 1989. — Ч. 2. — 590 с.

2. *Гордеева Ю.Л.* Алгоритмы расчета показателей процесса микробиологического синтеза в периодических условиях культивирования / Ю.Л. Гордеева, Ю.А Ивашкин, Л.С Гордеев // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2011. — № 2. — С. 7—14.

3. *Сидоров Ю.І.* Пілотні ферментери ємністного типу // Біотехнологія. — 2012. — Т. 5, № 2. — С. 68—75.

4. *Ферментеры.* Современная практика выбора оборудования / А.Ю. Попов // Чистые помещения и технологические среды. — 2006. — № 3. — С. 34—37.

5. *Герасименко В.А.* Повышение конкурентоспособности современного биотехнологического производства путем разработки и реализации алгоритма для выбора оптимального ферментационного оборудования / В.А. Герасименко // Материалы V Всерос. студ. науч. конф. с международ. участием, 25—26 апреля 2012 г. — Ульяновск, Россия, 2012. — С. 101—104.

6. *Лапшенков Г.И.* Выбор режима культивирования аэробных микроорганизмов с учетом степени устойчивости процесса / Г.И. Лапшенков, Т.В. Зиновкина, Л.Ю. Харитонова // Биотехнология. — 2002. — № 6. — С. 70—76.

МЕТОДОЛОГИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАСЧЕТА ФЕРМЕНТЕРА

Ю.В. Карлаш
Национальный университет пищевых технологий

На основании системного подхода в статье предложена методология оптимального расчета ферментера для глубинного культивирования аэроб-

ных микрорганизмов. В качестве критерия оптимальности выбран глобальный критерий, который включает суммарные затраты на приобретение компонентов питательной среды, эксплуатационные затраты на проведение процесса ферментаци и капитальные затраты на приобретение и монтаж ферментационного оборудования. Решением данной оптимизационной задачи является нахождение таких оптимальных параметров процесса ферментации, конструктивных и режимных характерстик ферментера, которые обеспечивают минимальные затраты на процесс.

***Ключевые слова**: оптимизация, ферментер, микроорганизмы, глубинное культивирование, системный подход.*